

ХАРАКТЕРИСТИКИ «ЦВЕТЕНИЯ» ВОДЫ В ДОЛИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩАХ (НА ПРИМЕРЕ МОЖАЙСКОГО, ГОРЬКОВСКОГО, ЧЕБОКСАРСКОГО И КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ)

Е. Д. Птицына, О. Н. Ерина

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва,
Россия, ptitsynaeva@yandex.ru*

Приводятся краткие результаты полевых исследований характеристик «цветения» воды на долинных водохранилищах, собранных Красновидавской учебно-научной базой географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Показано, что в межгодовом разрезе в водохранилищах Средней Волги и Можайском водохранилище средние и максимальные концентрации сильно варьируются. Разбивка лет по интенсивности «цветения» показала, что в Можайском и Горьковском водохранилищах зафиксировано опасное цветение.

Ключевые слова: долинное водохранилище; хлорофилл *a*; цветение воды; Можайское водохранилище; Горьковское водохранилище; Чебоксарское водохранилище; Куйбышевское водохранилище.

Введение. Цветение воды – это естественный процесс, который характерен для водоемов с высоким уровнем первичной продукции органических веществ, возникающих благодаря размножению клеток фитопланктона. В последние полтора века отмечается ускорение данного процесса в связи с усилением антропогенного влияния.

Для изучения развития фитопланктона в водоемах часто используется концентрация хлорофилла *a* – главного фотосинтетического пигмента зеленых растений. Это важный экологический параметр, который помогает определить трофический статус водного объекта. Его количественное измерение технически проще, чем другие методы. Поэтому оценка сезонных и пространственных изменений в развитии водорослей через содержание хлорофилла позволяет глубже понять механизмы образования и временные вариации цветения.

В работе мы попытались оценить интенсивность процесса в Можайском водохранилище и водохранилищах Средней Волги, основываясь на наблюдениях за концентрацией хлорофилла *a* в поверхностном слое воды.

Материалы и методы исследований. Объектами исследования являются четыре водохранилища, расположенные в центральной части ЕТР – Можайское, Горьковское, Чебоксарское и Куйбышевское. Можайское

водохранилище расположено на западе Московской области на реке Москва. Этот объект был выбран из-за наличия базы многолетних ежемесячных наблюдений, которые проводятся сотрудниками Красновидовской учебно-научной базы МГУ им. М.В. Ломоносова. Горьковское, Чебоксарское и Куйбышевское водохранилища расположены на реке Волге. На этих объектах в рамках экспедиций «Плавучего университета Волжского бассейна» проводились исследования начиная с 2017 года, включающие данные о содержании основных биогенных элементов и органических веществ, хлорофилла *a* и распределении гидрофизических характеристик. Исследуемые объекты являются долинными водохранилищами с различными размерами, гидрологической структурой, коэффициентами водообмена, целями эксплуатации, а также имеют различную степень антропогенной нагрузки на водосбор.

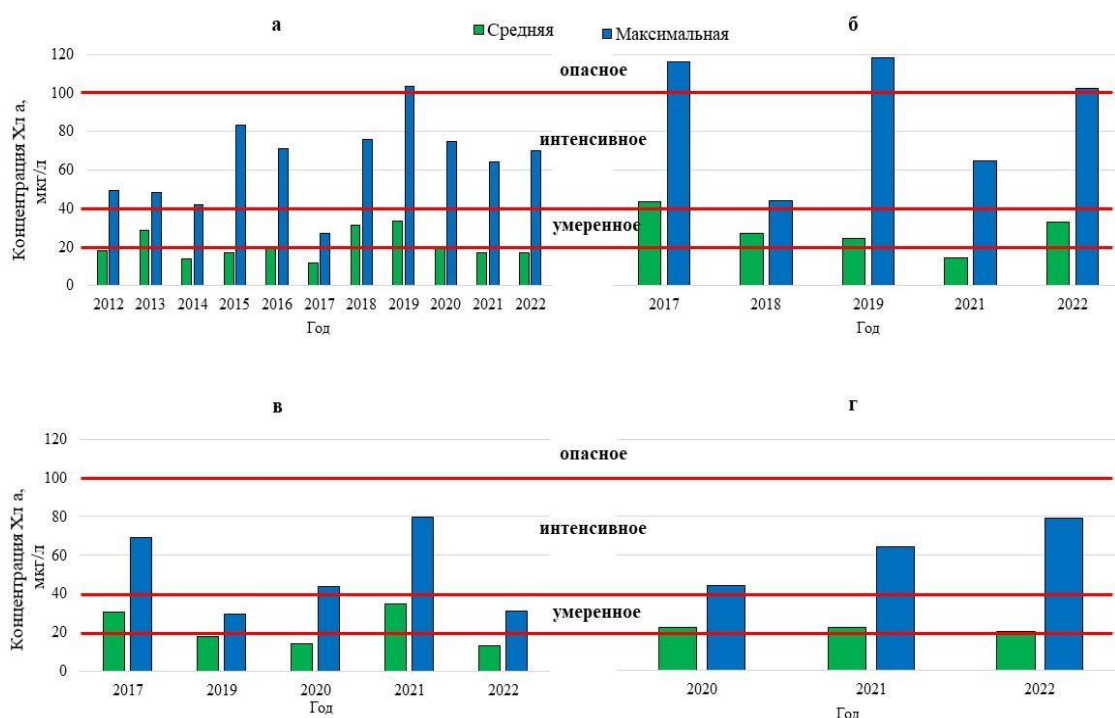
В качестве информационной основы работы были использованы данные многолетних наблюдений Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ на Можайском водохранилище за период с 2012 по 2022 гг., а также данные экспедиции «Плавучий университет Волжского бассейна» по Горьковскому, Чебоксарскому и Куйбышевскому водохранилищам с 2017 по 2022 год.

Для анализа баз данных были использованы программный пакет для кластерного анализа STATISTICA и программа для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

Для выявления вспышек цветения и определения их интенсивности нами был изучен ряд научных публикаций и правовых актов [1-5], где приводятся следующие пограничные значения концентрации хлорофилла *a* в воде, которые и были нами приняты в качестве индикаторов цветения: при концентрации хлорофилла, превышающей 20 мкг/л, в водоеме идентифицируется явление цветения; при концентрации, превышающей 40 мкг/л, данное явление характеризуется как интенсивное, и наконец при концентрации хлорофилла *a*, превышающей 100 мкг/л, мы классифицировали данное явление как опасное (НАВ – harmful algal bloom).

Результаты и их обсуждение. В Можайском водохранилище прослеживаются значительные межгодовые различия среднего за вегетационный период содержания хлорофилла *a* (Хл *a*) в поверхностном слое, среднее изменяется от 11,7 мкг/л до 33,5 мкг/л. В 2017 году максимальные концентрации не превышали 30 мкг/л, в 2012-2014 гг. максимум концентрации Хл *a* находился в диапазоне 40-50 мкг/л. В 2016, 2018, 2020-2022 годах максимальные концентрации Хл *a* изменялись в пределах 60-80 мкг/л. Наибольшие максимальные значения 83,4 мкг/л и 103,6 мкг/л были отмечены в 2015 и 2019 году соответственно, возможно, это связано с тем, что

в эти годы летняя межень была устойчивой без дождевых паводков, приток в водохранилище за лето был низкий, что также сопровождалось низкими уровнями воды. В период с 2012 по 2022 год Можайское водохранилище характеризовалось преимущественно умеренной интенсивностью цветения с отдельными очагами интенсивного и даже опасного по своей интенсивности развития фитопланктона (рис. 1а). В 2014 и 2017 годах по средним концентрациям хлорофилла *a* цветение отсутствовало, но по максимальным концентрациям цветение воды характеризовалось как интенсивное и умеренное соответственно. В 2014 году цветение началось только со второй половины июля, в августе на некоторых станциях отмечалось интенсивное цветение. В 2017 году было отмечено цветение только на некоторых станциях, поэтому среднее значение Хл *a* занижено. Согласно максимальным значениям концентрации хлорофилла *a*, цветение в многолетнем разрезе в Можайском водохранилище преимущественно характеризовалось как интенсивное, в 2017 году цветение было умеренным, в 2019 году – опасное, максимальные концентрации были отмечены в Красновидовском плесе, где были сформированы наиболее благоприятные условия для активности и размножения фитопланктона.



Интенсивность цветения воды по средним и максимальным значениям концентрации хлорофилла:

a – Можайское; *б* – Горьковское; *в* – Чебоксарское; *г* – Куйбышевское

В Горьковском водохранилище тоже прослеживается межгодовая изменчивость содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона. Средние значения изменялись в диапазоне в пределах 14,6-43,3 мкг/л (рис. 1б), при этом в 2017, 2019 и 2022 годах обнаруженные максимальные концентрации Хл *a* в поверхностном слое достигали 100 мкг/л, а в 2018 и 2021 годах - не превышали 80 мкг/л. На Горьковском водохранилище отмечалась сильная степень изменчивости в 2017, 2019, 2021 годах ($C_v > 0,7$), в 2021 году – умеренная. Горьковское водохранилище в среднем характеризовалось более активным развитием водорослей по сравнению с Можайским, в 2017 было отмечено интенсивное цветение, особенно активно развивавшееся в приплотинном плесе, где складываются наиболее благоприятные гидродинамические условия для продукции фитопланктона. При этом в 2021 году, например, средняя концентрация хлорофилла *a* в августе составила всего 14,6 мкг/л, что соответствовало отсутствию цветения согласно принятой в данной работе классификации. По максимальным концентрациям Хл *a* в 3 из 5 лет цветение характеризовалось, как опасное.

В Чебоксарском водохранилище за исследуемый период 2017, 2019-2022 г. прослеживается межгодовая изменчивость концентраций хлорофилла *a* в поверхностном слое воды, среднее изменяется от 13,4 до 30,7 мкг/л (рис. 1в). Наибольшие максимальные значения были отмечены в 2017 и 2021 году (больше 60 мкг/л). В 2019, 2020 и 2022 году максимальные значения Хл *a* не превышали 50 мкг/л. Степень изменчивости концентраций хлорофилла *a* в целом за исследуемый период умеренная, только в 2020 г. ее можно охарактеризовать как сильную. В Чебоксарском водохранилище по средним концентрациям Хл *a* цветение в основном отсутствовало, только в 2017 и 2021 годах цветение воды характеризовалось как умеренное. Согласно максимальным концентрациям Хл *a* в многолетнем разрезе цветение преимущественно характеризовалось как интенсивное, только в 2019 и 2022 году было умеренным.

В Куйбышевском водохранилище (рис. 1г) рассматриваемые года схожи по средним (20,5-22,4 мкг/л) и минимальным (5,2-6,8 мкг/л) концентрациям хлорофилла *a* в поверхностном слое воды. Наибольшие максимальные концентрации Хл *a* были отмечены в июле 2021 и 2022 гг., которые схожи по своим гидрометеорологическим условиям. В 2020 году в водохранилище отмечалась умеренная степень изменчивости концентраций Хл *a*, в 2021-2022 году – сильная. В период с 2020 по 2022 г. Куйбышевское водохранилище по средним значениям характеризовалось умеренным цветением. По максимальным значениям хлорофилла *a* зафиксировано интенсивное цветение во все рассматриваемые экспедиции, при этом наблюдался рост значений с каждым годом.

Заключение. В исследуемых водохранилищах в межгодовом разрезе концентрация Хл *a* изменялась в широком диапазоне. Разбивка лет по интенсивности цветения на основании средних за вегетационный период концентрации хлорофилла *a* показала, что в Можайском водохранилище за 2012-2022 гг. развитие фитопланктона приводило к интенсивно-умеренному цветению со «вспышками» опасного цветения, а в Горьковском за 2017-2022 гг. – к умеренному со «вспышками» опасного цветения. Чебоксарское водохранилище за период с 2017 по 2022 гг. характеризовалось в основном умеренным цветением с участками интенсивного цветения, в Куйбышевском водохранилище в 2020-2022 годах преобладало умеренное цветение.

Библиографические ссылки

1. *Кумаев С. П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: изд-во КНЦ РАН, 2007. 394 с.
2. Satellite detection of harmful algal bloom occurrences in Korean waters / Y.-H. Ahn [et al.] // *Harmful Algae*, 5(2), 2006, P. 213–231.
3. A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a-concentration in case 2 waters / A. A. Gitelson, A.A. [et al.] // *Environmental Research Letters*, № 4 (4), 2009.
4. Algal bloom-associated disease outbreaks among users of freshwater lakes — United States, 2009–2010 / E. D. Hilborn [et al.] // *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 2014, Vol. 63. № 1. 11 p.
5. Using chlorophyll a and cyanobacteria in the ecological classification of lakes // Søndergaard M. [et al.] // *Ecological Indicators*. 2011. № 11 (5). P. 1403–1412.